Produkcja i badania obręczy kolejowych

Ireneusz Mikłaszewicz

Maj 2016

- Podstawowa dokumentacja techniczna dot. produkcji obręczy kolejowych

- Karta UIC CODE 810-1
- Norma PN-84/H-84027/06
- Norma PN-91/K-91032

Gatunki stali na obręcze kolejowe wg PN-84/H-84027/06

Tablica 1

Znak gatunku stali	Skład chemiczny[1], %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
				max						
P54	0,50 ÷ 0,58[2]	0,60 ÷ 0,90	0,15 ÷ 0,40	0,040	0,040	0,30	0,30	0,30	0,05	0,05
P55A	0,52 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,90	0,15 ÷ 0,40							
P60	0,57 ÷ 0,65	0,60 ÷ 0,90	0,15 ÷ 0,40							

[1] Zawartość aluminium metalicznego (rozpuszczalnego w kwasach) w stalach powinna wynosić min 0,02%.
Na żądanie zamawiającego po uzgodnieniu z dostawcą zawartość fosforu i siarki nie powinna przekraczać 0,035% każdego składnika.
Łączna zawartość Cr + Ni + Mo nie powinna przekraczać 0,60%.

[2] Dla stali przeznaczonych na obręcze w stanie ulepszonym cieplnie dopuszcza się obniżenie dolnej granicy zawartości węgla do 0,45%.

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Właściwości wytrzymałościowe obręczy kolejowych wg **PN-84/H-84027/06**

Tablica 2

Znak gatunku stali	Stan obróbki cieplnej	Własności mechaniczne					
		R_{eH} (R_e)[1] MPa	R_m[2] MPa	A_5 %	Z[1] %	KCU J/cm²	Twardość[3] HB
		min		min			
P54	normalizowany[4]	370	700 ÷ 820	14	16	20	201
	ulepszany cieplnie	400	750 ÷ 880	15	22	30	221
P55A	normalizowany	430	800 ÷ 920	12	16	20	233
	ulepszany cieplnie			14	20	30	
P60	ulepszany cieplnie	500	920 ÷ 1050	12	16	20	262

[1] Podane wymagania dla granicy plastyczności (R_{eH} lub R_e) i przewężenia (Z) stanowią wartości informacyjne.
[2] Dla stali P54 i P55A dopuszcza się przekroczenie górnej granicy wytrzymałości na rozciąganie (R_m) o 30 MPa, jeżeli pozostałe własności mechaniczne zostaną dotrzymane.
[3] Twardość sprawdzona na obręczach pochodzących z jednego wytopu nie powinna różnić się więcej niż o 30 HB.
[4] Dopuszcza się ulepszanie cieplne obręczy wagonowych dla uzyskania wymaganych własności mechanicznych.

Maj 2016

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Właściwości wytrzymałościowe obręczy wg Karty UIC 810-1

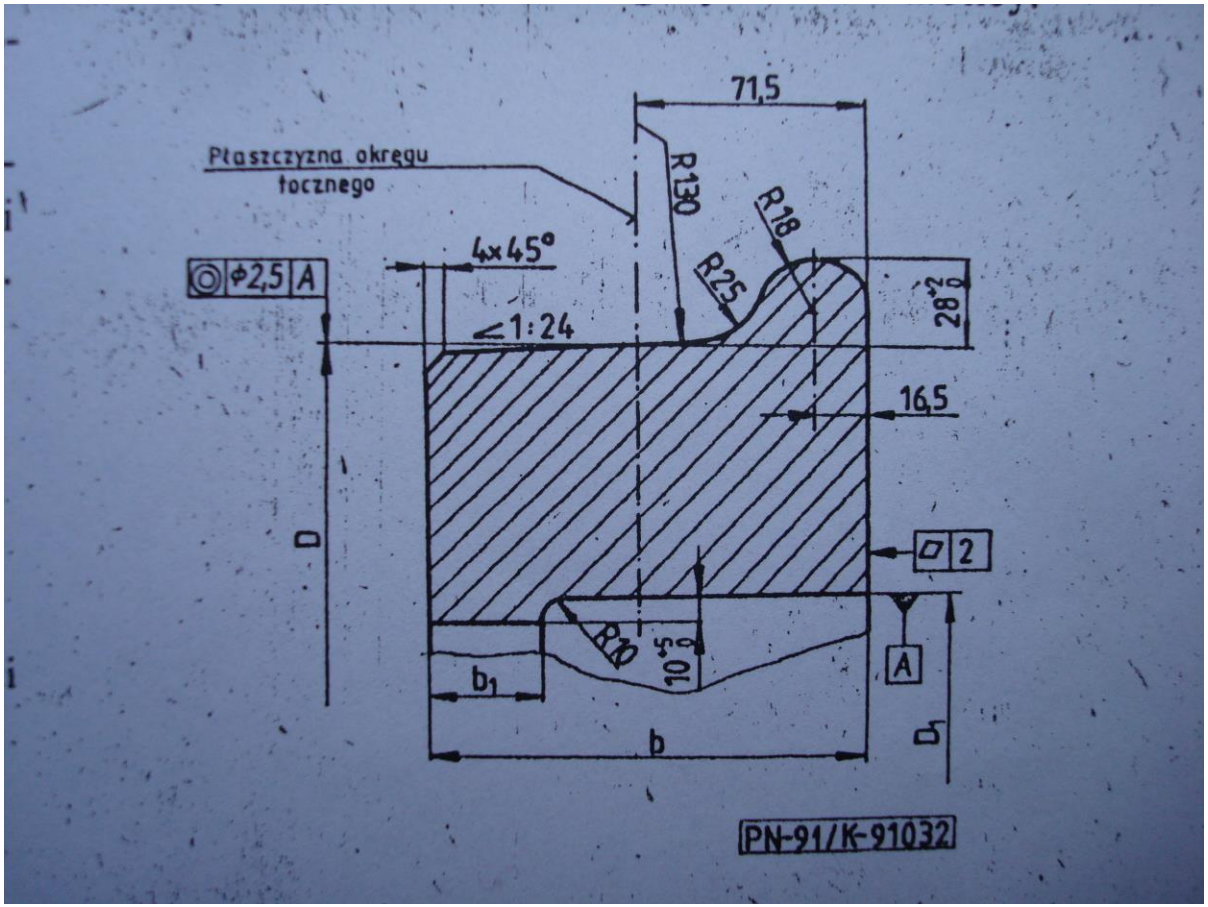
Table 1: Class of steel - chemical composition - heat treatment on delivery condition and mechanical characteristics

Class of steel	Chemical composition (maximum content in %)[a]											Mechanical characteris			
	C	Si	Mn	P[c]	S[c]	Cr	Cu	Mo	Ni	V	(Cr + Mo + Ni)	Heat treatment on delivery condition[d]	R_{eH} or R_p 0,2[e] (N/mm²)	R_m (N/mm²)	A min. (%)	KU min. (J)[f]
B1	0,48	0,50	1,20	0,040	0,040	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,60	- N	for information purposes	600 to 720 600 to 720	12 18	- 15
B2	0,58	0,50	0,90	0,040	0,040	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,60	- N		700 to 820 700 to 820	9 14	- 10
B3	0,60	0,50	1,10	0,040	0,040	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,60	N		750 to 880	12	10
B4	0,70	0,50	0,90	0,040	0,040	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,60	N		800 to 940	10	10
B5	0,60	0,50	0,80	0,040	0,040	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,60	T		800 to 920	14	15
B6	0,65	0,50	0,90	0,040	0,040	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,60	T		920 to 1 050	12	10

a. Analysis on product (see point 4.1).
b. R_{eH} = ultimate limit of elasticity
R_p 0,2 = traditional limit of elasticity at 0,2% (unproportional elongation)
R_m = Tensile strength
A = Percentage of elongation at rupture ($L_o = 5,65 \sqrt{S_o}$)
KU = Resilience on ISO U-notch test-piece at 20°C.
c. If specified on the order, the purchasing railway may limit this content to 0,035.
d. - = non-treated (as rolled)
N = normalised or normalised and tempered
T = hardened and tempered.
e. If the traditional limit of elasticity of steel for a total elongation of 0,5% (R_t 0,5) does not exceed 600 N/mm², R_t 0,5 can be chosen instead of R_{eH} or R_p 0,2.
f. Average of the three tests: one of the results may be lower than the minimum value specified in the present table, but must not be less than 70% of this value.
g. D is equal to half the sum of the inside and outside diameters (in mm)
R_m is the minimum specified tensile strength in N/mm²
e is the thickness of the tyre being tested (in mm).

Maj 2016

Wymiary obręczy w stanie bez obróbki mechanicznej



Maj 2016

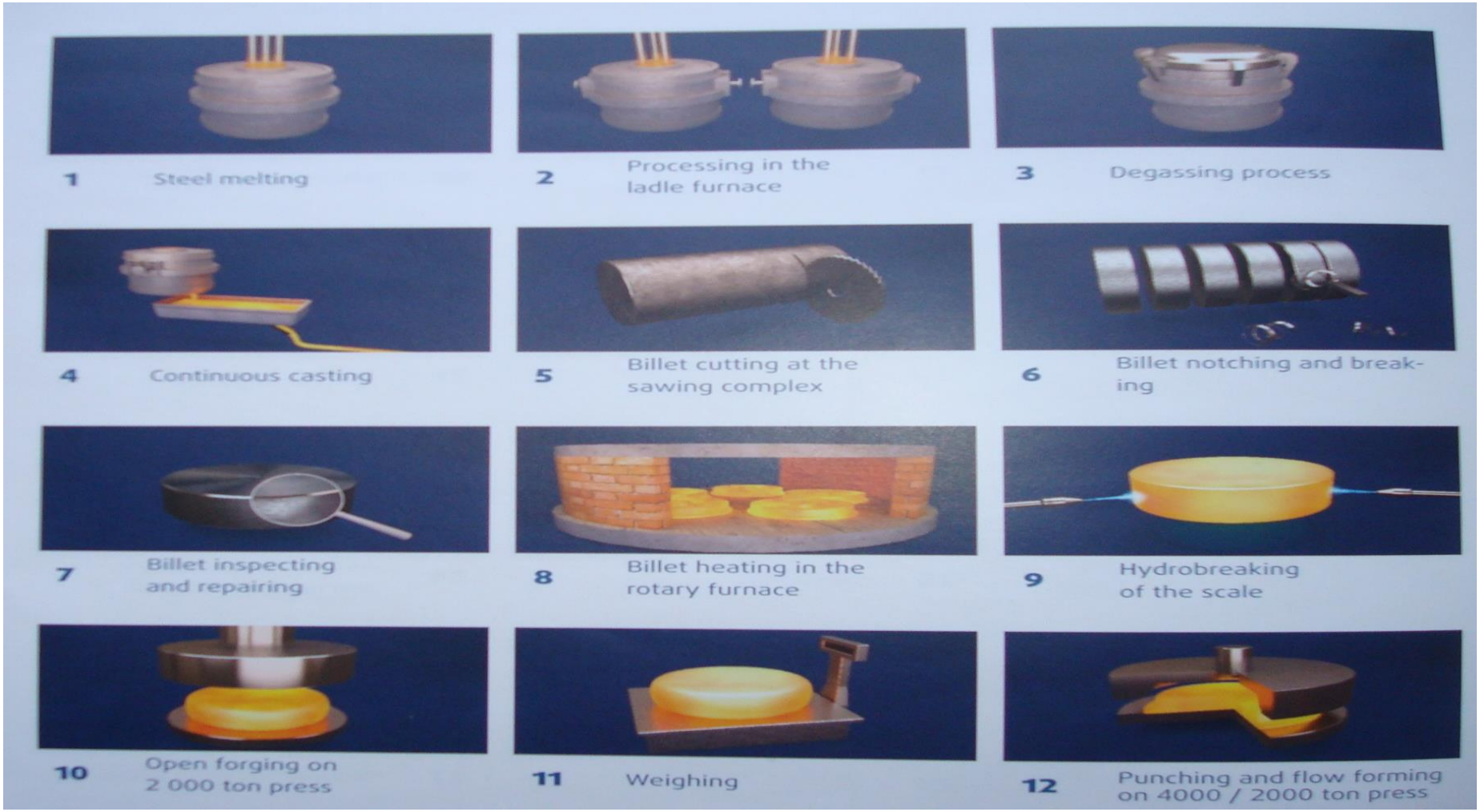
Wymiary obręczy w stanie bez obróbki mechanicznej wg PN-91/K-91032

Wielkość	D		D_1		$b^{1)}$		b_1		Orientacyjna masa 1 sztuki kg	Obręcz obrobiona wg PN-91/K-91034
850	855	+8 0	694	0 -10	139	+3 -1	40	+3 0	270	850
920	925		764						295	920
940	945		804						300	940
960	965								305	960
1000	1005		844						320	1000
1040	1045		884		144		30		330	1040
1100	1105		944						350	1100
1250	1255		1094						405	1250

[1] Odchyłka szerokości obręczy w miejscu cechowania ⩽ 5 mm.

Maj 2016

Proces technologiczny obręczy kolejowych



Maj 2916

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Proce technologiczny obręczy kolejowych

Maj 2016

Wsad do produkcji obręczy i pierścieni

Maj 2016

Załadunek wsadu do pieca grzewczego

Maj 2016

Wsad po wyjściu z pieca i usunięciu zgorzeliny

Maj 2016

Prasowanie obręczy

Maj 2016

Obręcz po dziurowaniu

Maj 2016

Walcowanie obręczy

Maj 2016

Profilowanie (kalibrowanie) obręczy

Maj 2016

Składowanie obręczy w dole

Maj 2016

Składowanie obręczy na hali

Maj 2016

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Piece szybowe do obróbki cieplnej

Maj 2016

Badanie ultradźwiękowe obręczy (sprzężenie wodne)

Badaniu UT poddawane są obręcze w 100%

Maj 2016

Próbki odniesienia obręczy z wadami sztucznymi

Maj 2016

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Badanie twardości i kontrola wymiarów obręczy

Maj 2016

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Obręcze przygotowane do wysyłki

Maj 2016

Skład chemiczny badanych obręczy z gatunku P55A

Raport z badań Nr 00283/15

Zleceniodawca: **Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, Warszawa, 04-275**
osoba kontaktowa: Tel. 22 47 31 373, Fax
Nr zlecenia: GM1/1087/15 z dn. 16.03.2015

Oznakowanie próbki	1		Rodzaj badanego materiału: P55A
Oznaczenie	Jednostka miary	Wynik	Procedura badawcza, metoda badań, urządzenie
Al	%	0.022 ±0.004	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
C	%	0.57 ±0.03	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
Cr	%	0.064 ±0.006	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
Cu	%	0.045 ±0.005	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
H	ppm	<0.4	ekstrakcja wysokotemperaturowa ,TCHEN 600 Leco
Mn	%	0.82 ±0.03	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
Mo	%	0.006 ±0.002	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
Ni	%	0.028 ±0.004	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
O	ppm	13 ±5	5/CHEM, 3 ed.,Jul 2012, ekstrakcja wysokotemperaturowa ,TCHEN 600 Leco
P	%	0.013 ±0.003	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
S	%	0.008 ±0.003	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
Si	%	0.27 ±0.02	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
V	%	< 0.003	3/CHEM,4 ed.,Jul 2012, OES iskra ,Magellan Q8 Bruker
Oznakowanie próbki	2		Rodzaj badanego materiału: P55A
Oznaczenie	Jednostka miary	Wynik	Procedura badawcza, metoda badań, urządzenie
H	ppm	<0.4	ekstrakcja wysokotemperaturowa ,TCHEN 600 Leco
O	ppm	14 ±5	5/CHEM, 3 ed.,Jul 2012, ekstrakcja wysokotemperaturowa ,TCHEN 600 Leco

Uwagi:

Data przyjęcia próbek do badań: 2015-03-18 | Data zakończenia badań: 2015-03-23
Badania wykonał: Marta Kubiczek, Michał Kubecki

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Badanie ultradźwiękowe obręczy

Maj 2016

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Próba uderzeniowa obręczy kafarem o ciężarze 1300 kg

Maj 2016

Badanie naprężeń w obręczach

Nr obręczy	Wielkość naprężeń resztkowych, MPa				
	Kąt 0 °	Kąt 90 °	Kąt 180 °	Kąt 270 °	Wartość średnia
B123.1/14 **Studzono w dole**	-82±9	-17±27	-20±5	-35±5	-38,0±11
B123.2/14 **Studzono na hali**	-86±13	-63±13	-106±9	-39±3	-73,5±9
B123.3/14 **Studzono na hali**	-77±19	-102±17	-38±9	-74±17	-72,7±15
B123.3/14 **Próba kafarowa**	-180±19	-68±5	-167±7	-37±17	-113,0±12

Maj 2016

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Własności wytrzymałościowe obręczy studzonej w dole i na hali

L.p	Badana wielkość	Nr obręczy – nr wytopu								NP95%*
		B123.1/14 - 21821			średnia	B123.2/14 – 21821			Średnia	
1.	**Re, MPa**	408	-	-	408±15	413	408	408	410±15	± **3,6%**
2.	**Rm, MPa**	801	774	778	784±28	817	809	819	815±29	
3.	**A_5, %**	13,6	15,6	14,8	14,7±0,5	14,8	14,6	14,4	14,6±0,5	
4.	**Z, %**	23,6	23,5	22,9	23,3±0,8	21,0	27,6	22,6-	23,7±0,8	

Maj 2016

Wyniki twardości HBW obręczy studzonej w dole i na hali

Nr obręczy – nr wytopu	Twardość Brinella, HBW	
	Powierzchnia badana	Wartość średnia
B123.1/14 Studzono w dole	196, 192, 193	**194±5,8**
B123.2/14 Studzono na hali	201, 200, 205	**202±6,1**
NP95%*	**± 3 %**	

Maj 2016

Wyniki udarności obręczy studzonej w dole i na hali

Nr obręczy	Kierunek badania	Udarność KCU, J/cm^2			NP95%*	Wartość średnia
B123.1/14	wzdłużny	22,7	22,1	25,8	5,5 %	**23,6±1,3**
B123.2/14	wzdłużny	20,8	22,2	22,5		**21,8±1,2**

Maj 2016

Odbitka Baumanna – obręcz studzona w dole

Maj 2016

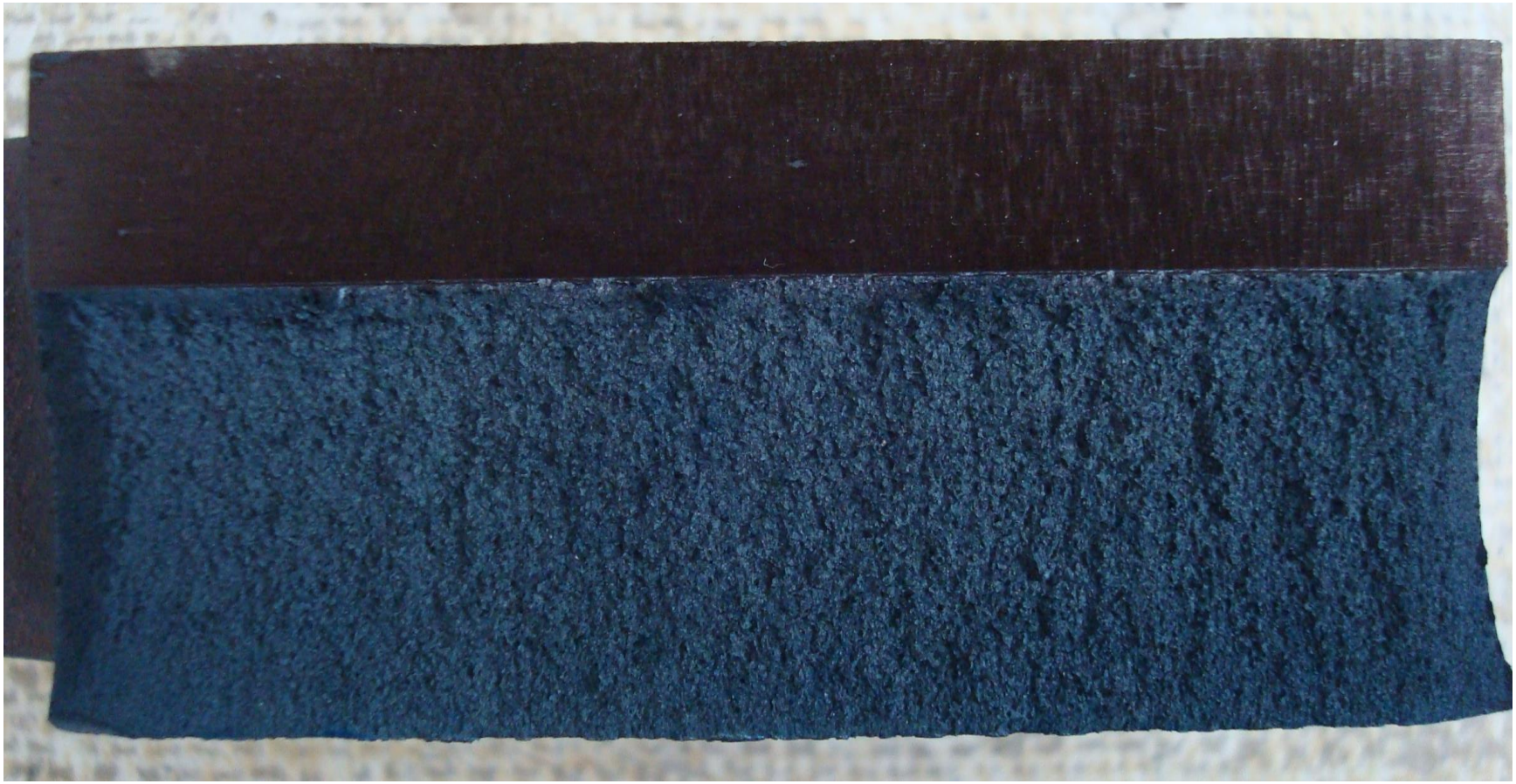
Odbitka Baumanna – obręcz studzona na hali

Maj 2016

Przełom obręczy studzonej w dole

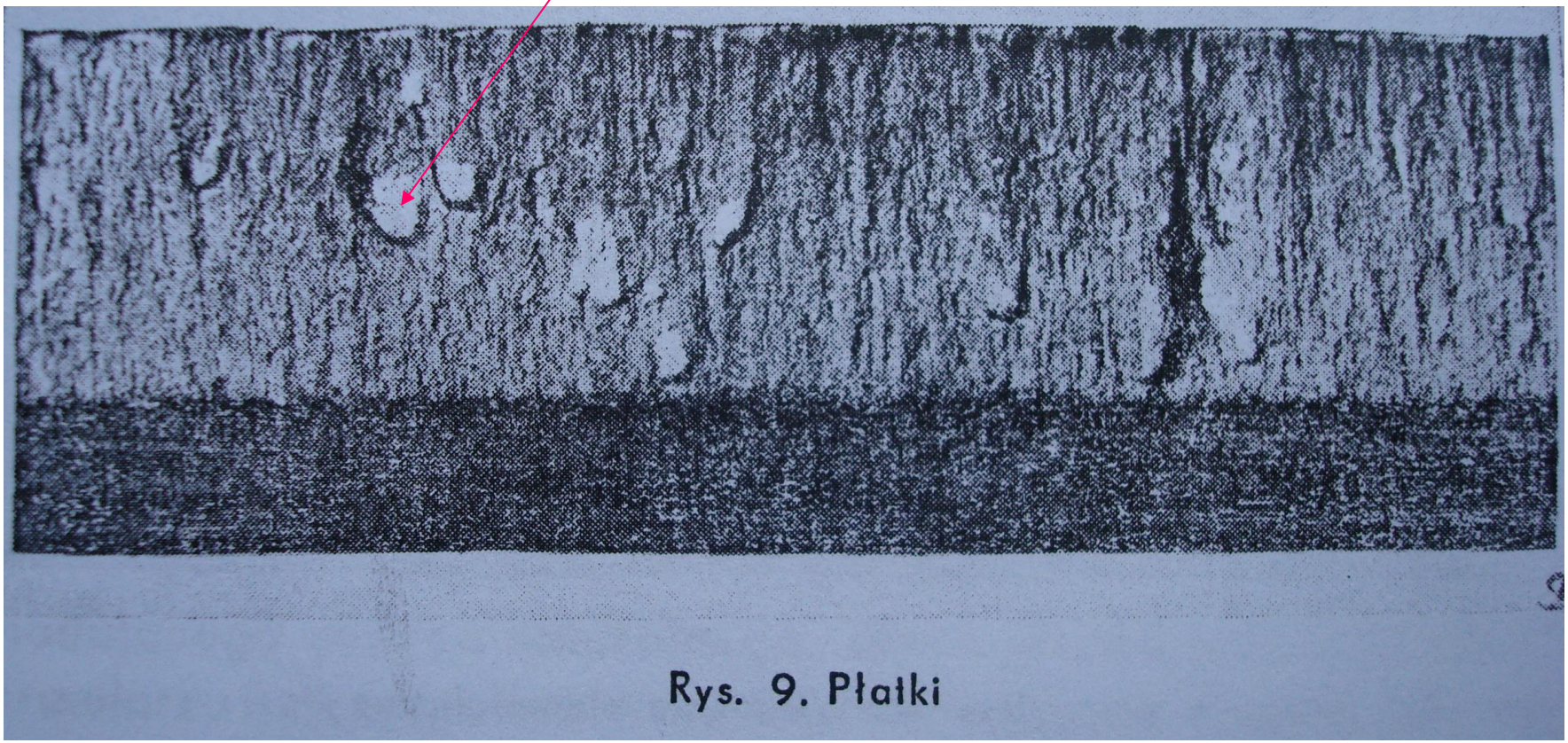
Maj 2016

Przełom niebieski obręczy studzonej na hali



Maj 2016

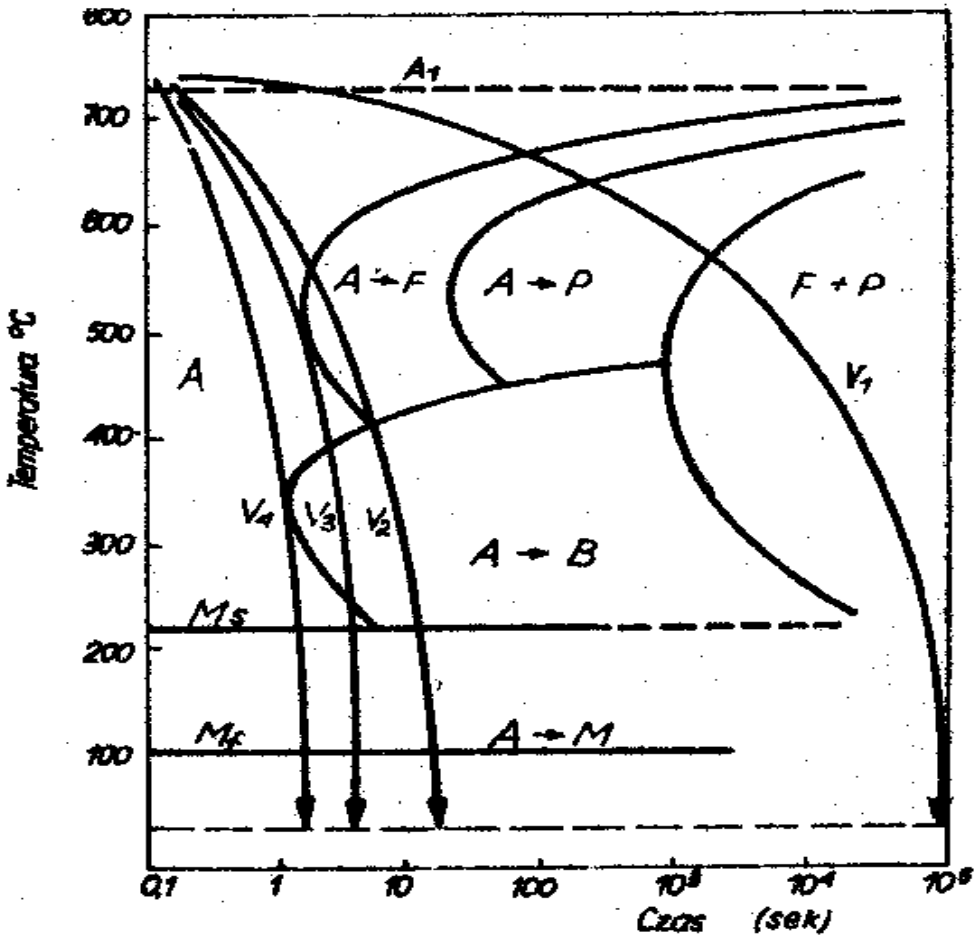
Pęknięcia wodorowe (płatki) w stali na przełomie



Maj 2016

źródło: PN-60/H-04509

Wykres CTPc dla stali eutektoidalnej



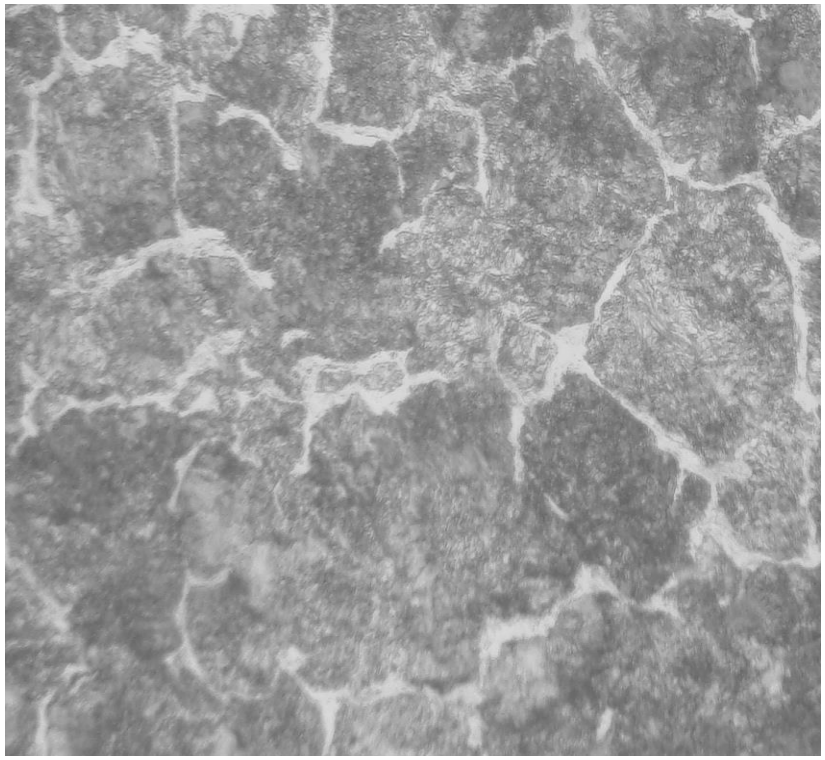
Maj 2016

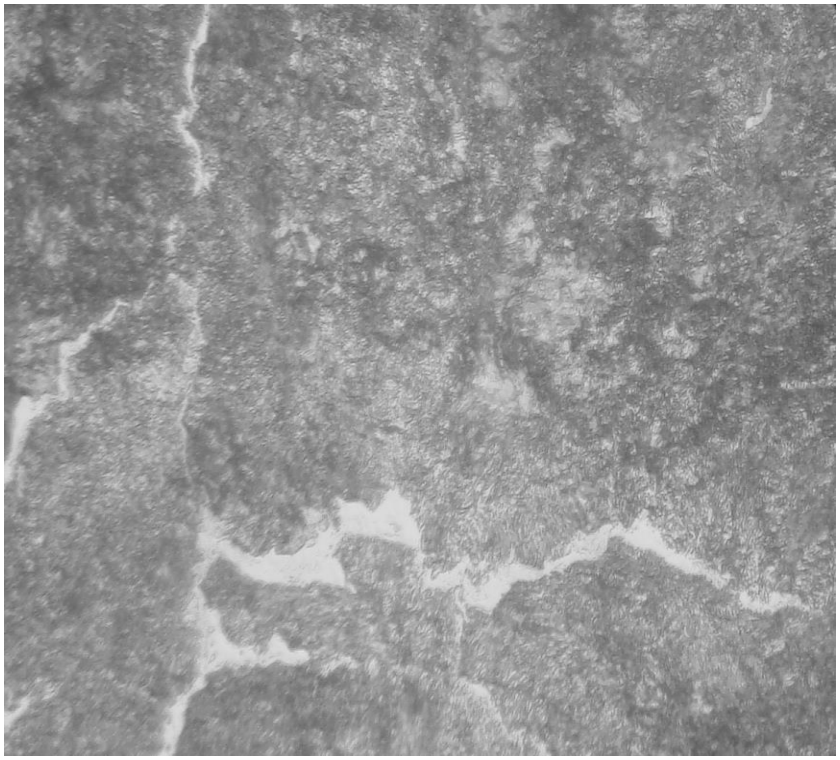
źródło: internet

Mikrostruktura warstwy powierzchniowej i środkowej obręczy po walcowaniu, studzonej w dole, pow. 400x

Maj 2016

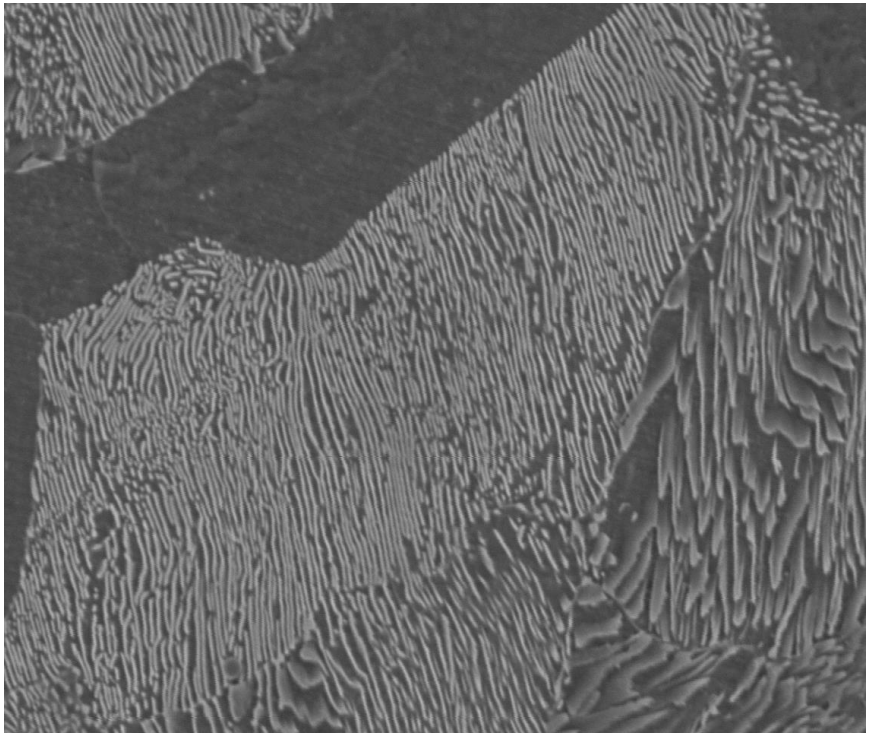
Mikrostruktura warstwy powierzchniowej i środkowej obręczy, studzonej na hali, pow. 400x

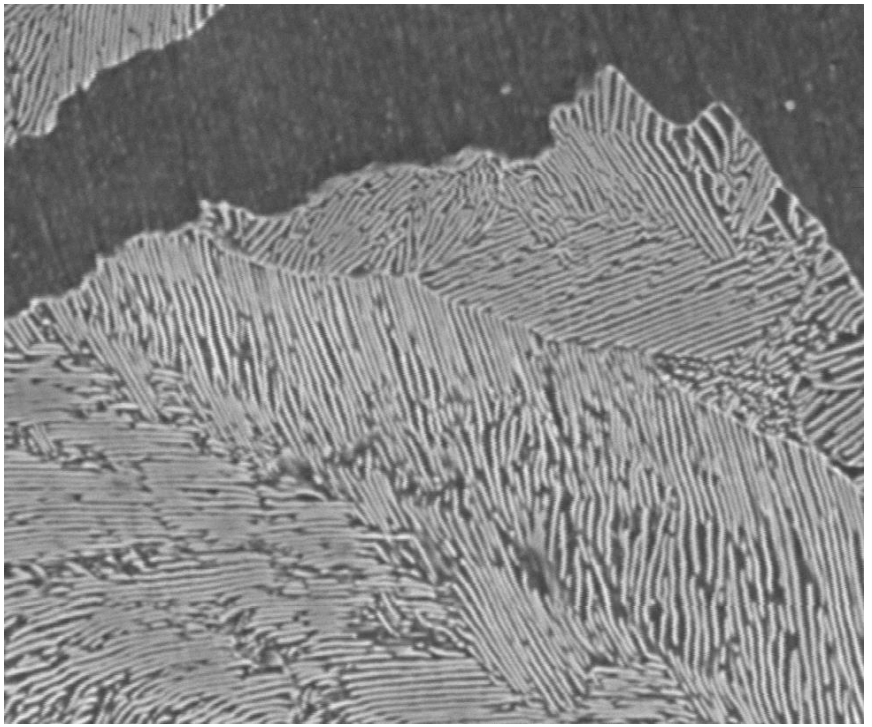




Maj 2016

Mikrostruktura warstwy powierzchniowej i środkowej obręczy po walcowaniu, studzonej w dole, pow. 3000x

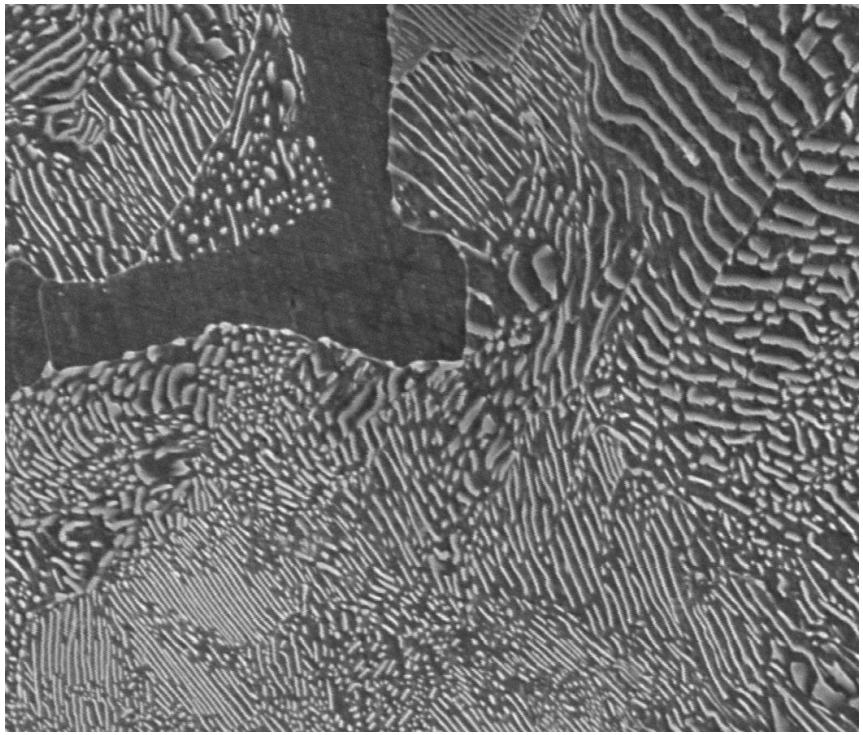




Maj 2016

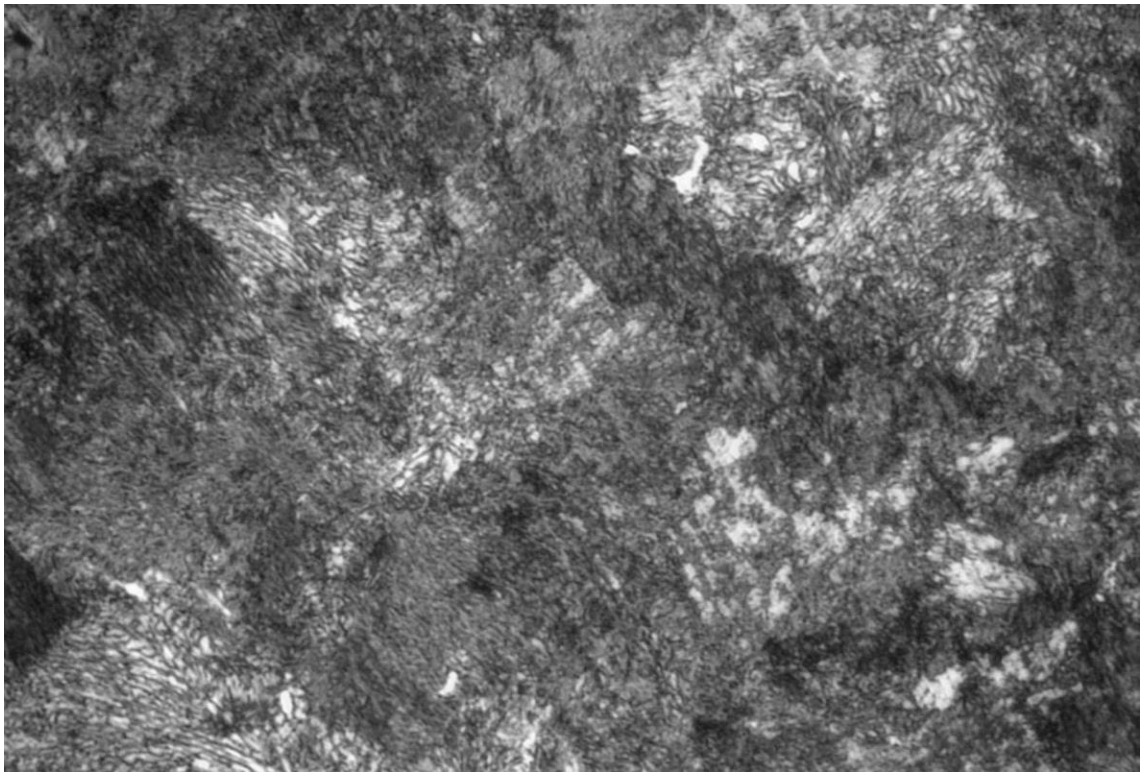
Produkcja i badania obręczy kolejowych

Mikrostruktura warstwy powierzchniowej i środkowej obręczy, studzonej na hali, pow. 3000x



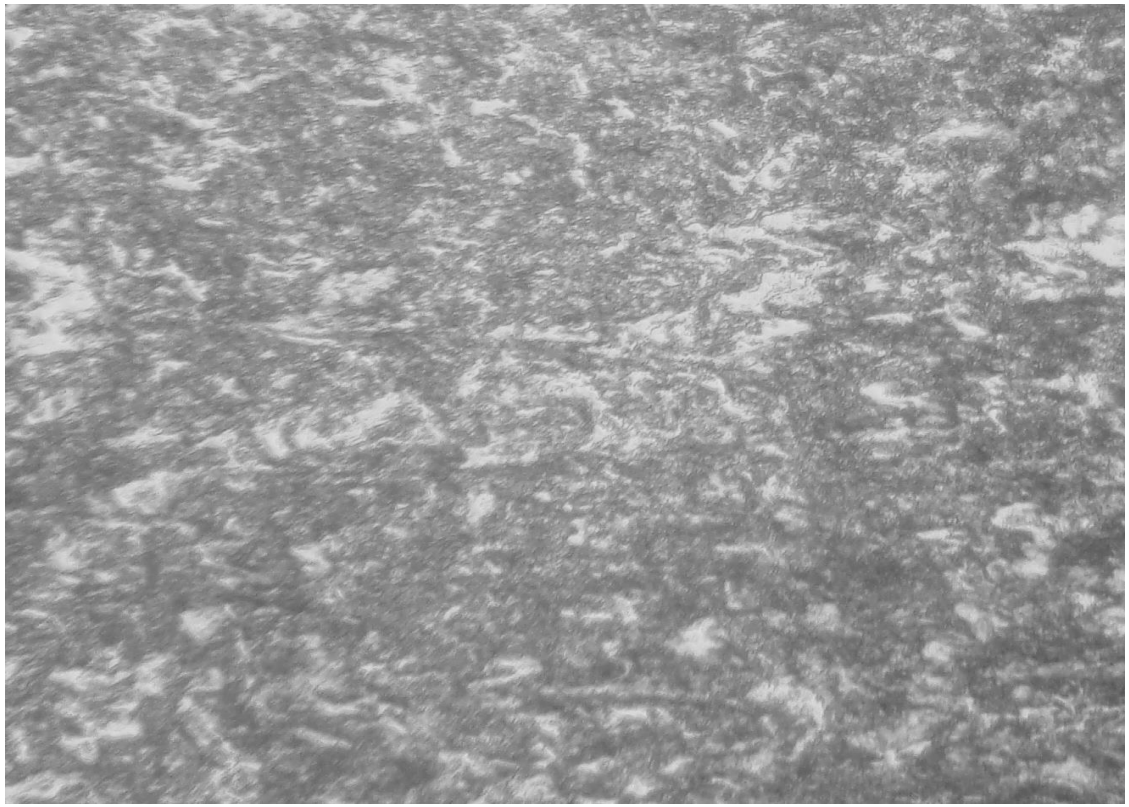
Maj 2016

Mikrostruktura środka obręczy A po obróbce cieplnej, pow. 500x



Maj 2016

Mikrostruktura środka obręczy B po obróbce cieplnej, pow. 400x



Maj 2016

Właściwości końcowe

obręczy po obróbce cieplnej hartowaniem i odpuszczaniem

Gatunek stali - P55A	Właściwości obręczy					
	Re, MPa	Rm, MPa	A5, %	Z, %	KCU, J/cm^2	HBW
Obręcz B123.1/14	532,0	869,0	21,0	53,6	46,0	238
Obręcz B123.2/14	533,0	857,0	23,2	55,1	49,0	234
PN-84/H-84027/06	min 430,0	800-920	min 14,0	min 20,0	min 30,0	min 233

Produkcja i badania obręczy kolejowych

Symulacja – stan naprężeń w materiale po obręczowaniu.

Wartości naprężeń w układzie z-y w węzłach obręczy na kole bosym przy zacisku 0,30 mm.

Maj 2016

Wnioski

1. Analiza procesu produkcyjnego obręczy z gatunku P55A w Hucie Bankowa Sp. z o.o., wykazała prawidłowość prowadzenia poszczególnych operacji produkcyjnych, ciecia wsadu, nagrzewania, kucia i walcowania, obróbki cieplnej i kontroli końcowej wyrobu.

2. Badania porównawcze obręczy na etapie po walcowaniu i studzeniu w dole oraz studzeniu w spokojnym powietrzu na hali, nie wykazały istotnych zmian w jakości materiału i nie wpływają na właściwości materiału po obróbce cieplnej obręczy.

.

Dziękuję za uwagę

Maj 2016